

Sensor for the detection of kinetic energy, especially piezoelectric sensor for the detection of dynamic or kinetic energy**Patent number:** DE3817354**Publication date:** 1988-12-01**Inventor:** ASAOKA AKIRA (JP)**Applicant:** NISSAN MOTOR (JP)**Classification:**

- international: *G01L1/16; B06B1/06; G01D5/14; G01L23/10; G01L23/22; G01P1/00; G01P15/09; G01L1/16; B06B1/06; G01D5/12; G01L23/00; G01P1/00; G01P15/09; (IPC1-7): G01L23/10; G01L23/22; G01L5/10; G01H11/08*

- european: B06B1/06B; G01L23/10; G01L23/22B2; G01P1/00C; G01P15/09D

Application number: DE19883817354 19880520**Priority number(s):** JP19870122400 19870521**Also published as:**

JP63289460 (A)

Report a data error here**Abstract of DE3817354**

A piezoelectric sensor having parallel connection of the piezoelectric elements of the piezoelectric membrane of bimorphic construction, by means of which an influence of differences of the electrical characteristics such as, for example, temperature-dependent characteristics of the piezoelectric elements, electrostatic capacitance differences and insulation resistance differences are suppressed, so that, by means of the parallel connection of the piezoelectric elements, the level of the disturbance components which depends on a temperature fluctuation is reduced to half the level which occurs in a traditional sensor in which the piezoelectric elements are connected in series.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 38 17 354 A 1**

⑤① Int. Cl. 4:
G01L 5/10
G 01 H 11/08
// G01L 23/10,23/22

②① Aktenzeichen: P 38 17 354.9
②② Anmeldetag: 20. 5. 88
②③ Offenlegungstag: 1. 12. 88

Behördeneigentum

DE 38 17 354 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
21.05.87 JP P 62-122400

⑦① Anmelder:
Nissan Motor Co., Ltd., Yokohama, Kanagawa, JP

⑦④ Vertreter:
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys., Pat.-Anwälte,
8000 München

⑦② Erfinder:
Asaoka, Akira, Yokohama, Kanagawa, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Sensor zur Erfassung kinetischer Energie, insbesondere piezoelektrischer Sensor zur Erfassung dynamischer oder kinetischer Energie

Ein piezoelektrischer Sensor mit Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente der piezoelektrischen Membran mit bimorphem Aufbau, wodurch ein Einfluß von Unterschieden der elektrischen Charakteristiken, wie beispielsweise temperaturabhängiger Charakteristiken der piezoelektrischen Elemente, elektrostatischer Kapazitätsunterschiede und Isolationswiderstandsunterschiede unterdrückt sind, so daß durch die Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente der Pegel der Störungskomponente, welche abhängt von einer Temperaturschwankung, auf die Hälfte des Pegels reduziert ist, der bei einem herkömmlichen Sensor auftritt, bei welchem die piezoelektrischen Elemente in Reihe geschaltet sind.

DE 38 17 354 A 1

Patentansprüche

1. Sensor zur Erfassung kinetischer Energie mit

- 5 — einem Sensorgehäuse, das einen hohlen Innenraum umfaßt;
- einem plattenförmigen Schwingungsorgan, das schwingungsfähig im Innenraum des Sensorgehäuses angeordnet ist und aus einem elektrisch leitfähigen Material besteht;
- einem ersten und zweiten piezoelektrischen Element, die an beiden entgegengesetzt zueinander liegenden Seitenflächen des plattenförmigen Schwingungsorgans befestigt sind,

10 dadurch gekennzeichnet, daß

- erste und zweite piezoelektrische Elemente (21, 22) so polarisiert sind, daß sie in Abhängigkeit einer einwirkenden kinetischen Energie Strom in gleicher Richtung erzeugen, und
- 15 — die ersten und zweiten piezoelektrischen Elemente (21, 22) zueinander parallel geschaltet sind und über eine erste Verbindungsleitung (29) an eine Sensorschaltung angeschlossen sind.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ferner eine zweite Verbindungsleitung (28) das plattenförmige Schwingungsorgan (20) mit der Sensorschaltung verbindet und das plattenförmige Schwingungsorgan (20) elektrisch mit dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (21, 22) verbunden ist.

3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) jeweils mit einer ersten Elektrode (23, 24), an welcher in Abhängigkeit von einer auf das piezoelektrische Element in einer ersten Richtung einwirkenden kinetischen Energie eine positive Ladung erzeugt wird, und mit einer zweiten Elektrode (25, 26), an der in Abhängigkeit von der in der ersten Richtung einwirkenden kinetischen Energie eine negative Ladung erzeugt wird, ausgestattet sind, und daß

25 das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) an der zweiten Elektrode (25, 26) mit dem plattenförmigen Schwingungsorgan (20) gekoppelt sind.

4. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) in Abhängigkeit einer Änderung der Umgebungstemperatur in zueinander entgegengesetzten Richtungen elektrische Ströme erzeugen.

5. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Verbindungsleitung (29) jeweils die erste Elektrode (23, 24) des ersten und zweiten piezoelektrischen Elements (21, 22) mit der Sensorschaltung verbindet.

6. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ableitungswiderstand (35) an die erste Verbindungsleitung (29) zwischen dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (21, 22) und der Sensorschaltung angeschlossen ist.

7. Piezoelektrischer Sensor zur Erfassung kinetischer oder dynamischer Energie mit

- 40 — einem Sensorgehäuse, das einen hohlen Innenraum umfaßt;
- einem plattenförmigen Schwingungsorgan, das schwingungsfähig im Innenraum des Sensorgehäuses angeordnet ist, eine erste und zweite Ebene an entgegengesetzt liegenden Seitenflächen aufweist und aus einem elektrisch leitfähigen Material gebildet ist;
- einem ersten und zweiten piezoelektrischen Element, die in der ersten und zweiten Ebene des plattenförmigen Schwingungsorgans befestigt sind,

45 dadurch gekennzeichnet, daß

- 50 — das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) jeweils mit einer ersten Elektrode (23, 24), an welcher in Abhängigkeit von einer auf das piezoelektrische Element in einer ersten Richtung einwirkenden kinetischen Energie eine positive Ladung erzeugt wird, und mit einer zweiten Elektrode (25, 26), an der in Abhängigkeit von der in der ersten Richtung einwirkenden kinetischen Energie eine negative Ladung erzeugt wird, ausgestattet sind;
- das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) mit dem plattenförmigen Schwingungsorgan (20) an der jeweils zweiten Elektrode (25, 26) gekoppelt sind, und
- 55 — das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) zueinander parallel geschaltet sind und über eine erste Verbindungsleitung (29) an eine Sensorschaltung angeschlossen sind.

8. Sensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Verbindungsleitung (28) das plattenförmige Schwingungsorgan (20) mit der Sensorschaltung verbindet, und das plattenförmige Schwingungsorgan (20) elektrisch mit dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (21, 22) verbunden ist.

9. Sensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite piezoelektrische Element (21, 22) in Abhängigkeit von einer Änderung der Umgebungstemperatur zueinander entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme erzeugen.

10. Sensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Verbindungsleitung (29) die jeweils ersten Elektroden (23, 24) des ersten und zweiten piezoelektrischen Elements (21, 22) mit der Sensorschaltung verbindet.

11. Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ableitungswiderstand (35) an die erste Verbindungsleitung (29) zwischen dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (21, 22) und der

Sensorschaltung angeschlossen ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Sensor zur Erfassung dynamischer oder kinetischer Energie. Insbesondere befaßt sich die Erfindung mit einem piezoelektrischen Sensor, der als Beschleunigungsmesser zur Erfassung einer Beschleunigung verwendbar ist. Ferner befaßt sich die Erfindung insbesondere mit einem piezoelektrischen Sensor, welcher als Beschleunigungsmesser zur Erfassung einer Beschleunigung bei einer Schwingung oder relativen Verlagerung von Komponenten in einem Kraftfahrzeug, beispielsweise einer Schwingung in einem Motorblock, welche die Größe eines Motorklopfens angibt, oder beispielsweise eine Relativverschiebung zwischen einem Fahrzeugteil und einem Aufhängungsteil angibt.

Die japanische Gebrauchsmusterveröffentlichung (Jikkai) Showa 61-187462 beschreibt einen piezoelektrischen Sensor, welcher einen Beschleunigungsmesser darstellt. Bei diesem piezoelektrischen Sensor wird eine piezoelektrische Membran verwendet, welche schwingungsfähig in einem Sensorgehäuse befestigt ist zur Schwingung bzw. oszillierenden Bewegung, mit einer solchen Stärke und Geschwindigkeit, die einer kinetischen oder dynamischen Energie entspricht, welche auf ein Element ausgeübt wird, dessen Beschleunigung gemessen werden soll. Die piezoelektrische Membran enthält einen dünnen Metallgrundkörper in Platten- oder Scheibenform mit zwei ebenen Oberflächen, an denen piezoelektrische Elemente durch Bindemittel befestigt sind.

Um Einflüsse thermischer Ausdehnung des Metallgrundkörpers und der piezoelektrischen Elemente zu vermeiden bzw. minimal zu halten, wird der thermische Ausdehnungskoeffizient der beiden Komponenten der piezoelektrischen Membran so gut wie möglich einander entgegengesetzt verlaufend gehalten. Wenn beispielsweise die piezoelektrischen Elemente aus einer Legierung von PZT ($\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$) gebildet sind, kann eine Ni-Fe-Legierung mit einem entgegengesetzt sich verhaltenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten zur Bildung des Metallgrundkörpers verwendet werden.

Da andererseits die piezoelektrischen Elemente temperaturabhängige Charakteristiken zur Erzeugung einer in Abhängigkeit von der Temperaturänderung variablen Spannung aufweisen, werden bimorphe Strukturen verwendet, die für die piezoelektrischen Komponenten entgegengesetzte Ausgangscharakteristiken vorsehen, so daß ein von der Temperaturänderung abhängiges Störrauschen unterdrückt ist.

Bei dem herkömmlichen bimorphen piezoelektrischen Membranstrukturen sind die piezoelektrischen Elemente mit entgegengesetzten Polaritäten ausgestattet und elektrisch miteinander in Reihe geschaltet. Ein derartiger elektrischer Aufbau ist bestrebt, ein unzulässig starkes Störrauschen zu erzeugen. Dieses ergibt sich aufgrund des Unterschieds der elektrostatischen Kapazitäten und Isolationswiderstände zwischen den piezoelektrischen Elementen. Dieses Rauschen beeinflusst insbesondere die Genauigkeit der Messung von kinetischer oder dynamischer Energie bei niedrigem Frequenzpegel.

Wenn der piezoelektrische Sensor bzw. piezoelektrische Beschleunigungsmesser in einem Steuerungssystem einer Fahrzeugaufhängung verwendet wird, ist eine Hochfrequenzkomponente der Ausgangssignale für Schwingungseingänge vorhanden, welche durch das auf der Straße abrollende Rad infolge von Straßenunebenheiten usw. herrühren. Eine Niedrigfrequenzkomponente des Ausgangssignals gibt die Schwingungen wieder, welche durch den Fahrzeugkörper hervorgerufen werden. Bei der Überwachung des Fahrzeugverhaltens, welche mit Hilfe des Aufhängungssteuersystems durchgeführt werden soll, ist die Niedrigfrequenzkomponente der wesentliche Parameter zur Steuerung der Steifigkeit bzw. der Höheneinstellung der Aufhängungssysteme. Aufgrund der oben geschilderten Nachteile herkömmlicher piezoelektrischer Sensoren bzw. Beschleunigungsmeßeinrichtungen war die Anwendung für Fahrzeugaufhängungssteuersysteme in der Praxis schwierig.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen piezoelektrischen Sensor zu schaffen, bei dem Einflüsse der Änderung der Umgebungstemperatur vermieden sind und mit dem dadurch die Meßgenauigkeit bei der Messung kinetischer oder dynamischer Energie verbessert ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

In vorteilhafter Weise wird durch die Erfindung ein piezoelektrischer Sensor geschaffen, der als Beschleunigungsmeßeinrichtung in einem Automobilaufhängungssteuersystem zur Erfassung relativer Verlagerungen zwischen einem Fahrzeugkörper und einem Aufhängungselement, das drehbar ein Fahrzeugrad trägt, verwendbar ist.

Hierzu wird durch die Erfindung ein piezoelektrischer Sensor geschaffen, bei dem eine Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente in einer piezoelektrischen Membran mit bimorphem Aufbau verwendet wird. Die Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente verhindert in vorteilhafter Weise einen Einfluß des Unterschieds der elektrischen Charakteristiken, wie beispielsweise eines Unterschieds temperaturabhängiger Charakteristiken der piezoelektrischen Elemente, eines Unterschieds der elektrostatischen Kapazitäten und eines Unterschieds der Isolationswiderstände.

In der Praxis erweist sich die Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente wirksam bei der Reduzierung des Pegels der von der Temperaturschwankung abhängigen Störkomponente auf die Hälfte des Pegels von herkömmlichen Sensoren mit Reihenschaltung der piezoelektrischen Elemente. Bei einer Ausführungsform der Erfindung enthält ein Sensor zur Erfassung kinetischer Energie ein Sensorgehäuse mit einem Hohlraum im Inneren, ein plattenförmiges Schwingungsorgan, das im Innenraum des Sensorgehäuses schwingungsfähig angeordnet ist und aus einem elektrisch leitfähigen Material besteht, erste und zweite piezoelektrische Elemente, die an entgegengesetzt liegenden Seitenflächen des plattenförmigen Schwingungsorgans befestigt sind, wobei die ersten und zweiten piezoelektrischen Elemente so polarisiert sind, daß sie einen Strom mit gleicher Richtung in Abhängigkeit von der auf sie einwirkenden kinetischen Energie erzeugen, und eine erste Leitungsverbindung, welche das erste und das zweite parallel zueinandergeschaltete piezoelektrische Element mit einer Sensorschaltung verbindet.

Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung enthält ein piezoelektrischer Sensor zur Erfassung kinetischer oder dynamischer Energie ein Sensorgehäuse, das einen Hohlraum im Gehäuseinnern bildet, ein plattenförmiges Schwingungsorgan, das schwingungsfähig im Gehäuseinnern angeordnet ist und an seinen entgegengesetzt liegenden Seitenflächen eine erste und eine zweite Ebene aufweist, wobei das plattenförmige Schwingungsorgan aus elektrisch leitfähigem Material besteht, erste und zweite piezoelektrische Elemente, die in der ersten und zweiten Ebene des plattenförmigen Schwingungsorgans befestigt sind, wobei jedes der ersten und zweiten piezoelektrischen Elemente ausgestattet ist mit einer ersten Elektrode, an welcher eine positive Ladung erzeugt wird in Abhängigkeit von der kinetischen Energie, die in einer ersten Richtung auf das piezoelektrische Element einwirkt, und mit einer zweiten Elektrode, an welcher eine negative Ladung erzeugt wird in Abhängigkeit von der kinetischen Energie, welche in der ersten Richtung ausgeübt wird, wobei das erste und zweite piezoelektrische Element mit dem plattenförmigen Schwingungsorgan an der zweiten Elektrode gekoppelt sind, und eine erste Leitungsverbindung, welche das erste und zweite parallel zueinandergeschaltete piezoelektrische Element mit einer Sensorschaltung verbindet.

Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ferner eine zweite Leitungsverbindung vorgesehen zur Verbindung des plattenförmigen Schwingungsorgans mit der Sensorschaltung, wobei das plattenförmige Schwingungsorgan elektrisch mit dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element verbunden ist.

Um Einflüsse der Umgebungstemperatur zu vermeiden, können die ersten und zweiten piezoelektrischen Elemente gegeneinander gerichtete Ströme in Abhängigkeit von der Umgebungstemperaturänderung erzeugen.

In bevorzugter Weise verbindet die erste Leitungsverbindung die ersten Elektroden des ersten und zweiten piezoelektrischen Elements mit der Sensorschaltung.

Für den Fall, daß der Sensor zur Erfassung einer niederfrequenten kinetischen Energie verwendet wird, kann ein Ableitungswiderstand an die erste Leitungsverbindung zwischen dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element und der Sensorschaltung angeschlossen sein. Hierdurch wird das erste und zweite piezoelektrische Element mit einem größeren Isolationswiderstand versehen.

Die Figuren dienen zur weiteren Erläuterung der Erfindung. Es zeigt:

Fig. 1 eine schnittbildliche Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines piezoelektrischen Sensors nach der Erfindung;

Fig. 2 eine vergrößerte schnittbildliche Darstellung einer piezoelektrischen Membran, welche beim Ausführungsbeispiel des piezoelektrischen Sensors der Fig. 1 zur Anwendung kommen kann;

Fig. 3 eine weitere vergrößerte schnittbildliche Darstellung eines Hauptteils des piezoelektrischen Sensors der Fig. 2;

Fig. 4 eine erläuternde Darstellung, welche die Ausgangspolarität der piezoelektrischen Elemente in der piezoelektrischen Membran der Fig. 2 zeigt;

Fig. 5 ein Schaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer Schaltung mit dem Ausführungsbeispiel des piezoelektrischen Sensors der Fig. 1;

Fig. 6 ein Schaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Schaltung mit dem Ausführungsbeispiel des piezoelektrischen Sensors der Fig. 1;

Fig. 7 (A), 7 (C) und 7 (D) Darstellungen zur Erläuterung des Betriebs eines herkömmlichen piezoelektrischen Sensors mit in Reihe geschalteten piezoelektrischen Elementen im Sensor;

Fig. 8 (A), 8 (B), 8 (C) und 8 (D) Darstellungen zur Erläuterung des Betriebs eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Sensors, bei welchem die piezoelektrischen Elemente des Sensors parallel geschaltet sind;

Fig. 9 (A) und 9 (B) Schaltbilder von Prüfgeräten im Prüfbetrieb der Sensoren nach dem Stand der Technik und nach dem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

Fig. 10 (A) bis 10 (H) Kurvendarstellungen der Prüfergebnisse bei Verwendung der in den Fig. 9 (A) und 9 (B) verwendeten Prüfgeräte.

Unter Bezugnahme auf die Figuren, insbesondere die Fig. 1, besitzt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines piezoelektrischen Sensors nach der Erfindung eine piezoelektrische Membran 100. Die piezoelektrische Membran 100 ist flach ausgebildet und besitzt eine Scheibenform. Die piezoelektrische Membran 100 ist schwingungsfähig in einem Sensorgehäuse angeordnet. Dieses Sensorgehäuse besitzt einen unteren Gehäuseteil 2 und einen oberen Gehäuseteil 3. Ein Tragring 4 ist fest im Sensorgehäuse zwischen Anpaßkanten vertikaler Flächen des oberen und unteren Gehäuseteils 2 und 3 angeordnet. Der Tragring 4 steht in Eingriff mit dem Umfangsrand der piezoelektrischen Membran, so daß diese schwingungsfähig gelagert ist. Der Tragring 4 besteht aus einem elastischen Material, beispielsweise aus Polyurethan. Eine Leiterplatte 5 ist mit mehreren Sensorschaltungselementen 6, wie beispielsweise Filter, Verstärker und dgl., bestückt. Diese befindet sich ebenfalls im Gehäuseinnern des Sensorgehäuses, wobei das Gehäuseinnere zwischen dem oberen und unteren Gehäuseteil 2 und 3 gebildet ist. Die Leiterplatte 5 ist starr am Boden des unteren Gehäuseteils 3 befestigt. Die Leiterplatte 5 ist ferner mit einer Vergußmasse 7 umhüllt und mit einer äußeren Anschlußleitung 8 verbunden.

Wie die Fig. 1 und 2 zeigen, besitzt die piezoelektrische Membran 100 eine dünne und flache Metallscheibe 20 sowie ein Paar piezoelektrischer Elemente 21 und 22. Elektroden 23 und 25 sind an beiden Seitenflächen des piezoelektrischen Elements 21 vorgesehen. In gleicher Weise sind Elektroden 24 und 26 an beiden Seitenflächen des piezoelektrischen Elements 22 gebildet. Die Elektroden 25 und 26 sind zwischen den jeweils zugeordneten piezoelektrischen Elementen 21 und 22 und der Metallscheibe 20 gebildet. Die Elektroden 23 und 24 werden im folgenden als "äußere Elektroden" bezeichnet. Die Elektroden 25 und 26 sind an den piezoelektrischen Elementen 21 und 22 an den Seitenflächen gebildet, die entgegengesetzt zu den Seitenflächen liegen, an denen die äußeren Elektroden 23 und 24 vorgesehen sind. Die Elektroden 25 und 26 werden daher im folgenden als "innere Elektroden" bezeichnet.

Wie aus Fig. 3 hervorgeht, besitzen die inneren Elektroden 25 und 26 der piezoelektrischen Elemente 21 und 22 Oberflächen, welche mit den Oberflächen der Metallscheibe 20 gekoppelt sind bzw. mit diesen Flächen zusammenarbeiten. Diese Kupplungsflächen der inneren Elektroden 25 und 26 sind mit den Kupplungsflächen der Metallscheibe 20 durch Lötungen verbunden. Demzufolge sind Lötsschichten 31 und 32 zwischen den Kupplungsflächen der Metallscheibe 20 und den inneren Elektroden 25 und 26 gebildet. Das dargestellte Ausführungsbeispiel verwendet mithin zum Verbinden der inneren Elektroden 25 und 26 mit der Metallscheibe 20 eine Lötung. Es ist jedoch auch möglich, elektrisch leitfähige Kleber anstelle der Lötung zu verwenden.

Die äußeren und inneren Elektroden 23, 24, 25 und 26 sind Schichten aus einer Ni—Cu-Legierung, die auf ebenen Oberflächen der piezoelektrischen Elemente 21 und 22 durch Aufsprühen oder Aufdampfen gebildet sind. Bei einer bevorzugten Ausführungsform beträgt die Dicke jeder der äußeren und inneren Elektroden 23, 24, 25 und 26 etwa 0,1 Mikrometer bis 0,5 Mikrometer. Die äußeren Elektroden 23 und 24 sind über einen Verbindungsdraht 27 miteinander verbunden. Ein Verbindungsdraht 29 dient zur Verbindung der äußeren Elektroden 23 und 24 mit der Sensorschaltung auf der Leiterplatte 5, so daß elektrische Ladung, welche an den äußeren Elektroden erzeugt wird, der Sensorschaltung zugeleitet wird. Andererseits dient ein Verbindungsdraht 28 zur Verbindung der inneren Elektroden 25 und 26 mit der Sensorschaltung. Die Metallscheibe 20 ist aus einem elektrisch leitfähigen Material geformt. Die inneren Elektroden 25 und 26 stehen in leitfähigem Kontakt mit der Metallscheibe 20.

Beim bevorzugten Ausführungsbeispiel des piezoelektrischen Sensors wird ein Aufbau verwendet, welcher die gleiche Polarität der Ausgangscharakteristiken der piezoelektrischen Elemente 21 und 22 aufweist, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist. Bei dem in der Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel sind in Abhängigkeit einer Temperaturänderung die Polaritäten der elektrischen Ladung, welche an den äußeren Elektroden 23 und 24 erzeugt werden, positiv und negativ, und die Polaritäten der elektrischen Ladungen, welche an den inneren Elektroden 25 und 26 erzeugt werden, sind positiv und negativ. Andererseits: wenn kinetische Energie auf die piezoelektrische Membran 100 zur Einwirkung kommt, wird eine positive Ladung an beiden äußeren Elektroden 23 und 24 und eine negative Ladung an den beiden inneren Elektroden 25 und 26 erzeugt.

Bevorzugte Schaltungsanordnungen für Sensorschaltungen, bei denen das dargestellte Ausführungsbeispiel des piezoelektrischen Sensors zur Anwendung kommen kann, sind in den Fig. 5 und 6 dargestellt. Beim Schaltungsaufbau der Fig. 5 sind die äußeren Elektroden 23 und 24, welche über den Verbindungsdraht 27 miteinander verbunden sind, an eine nichtinvertierende Eingangsklemme eines Operationsverstärkers 33 angeschlossen. Der Ausgang des Operationsverstärkers ist mit einer Ausgangsklemme 34 verbunden, die mit einer äußeren Schaltung über den äußeren Anschlußdraht 8 verbunden ist. Der Ausgang des Operationsverstärkers 33 ist mit der invertierenden Eingangsklemme des Operationsverstärkers über eine Rückkopplungsleitung verbunden. Die inneren Elektroden 25 und 26 sind über die Metallscheibe 20 und den Verbindungsdraht 28 geerdet.

Für den Fall, daß für das piezoelektrische Element ein hoher Isolationswiderstand vorhanden sein soll, kann ein Ableitungswiderstand 35 mit dem Verbindungsdraht 29 verbunden sein, wie es in Fig. 6 dargestellt ist.

Die Fig. 7 (A), 7 (B), 7 (C) und 7 (D) sowie die Fig. 8 (A), 8 (B), 8 (C) und 8 (D) zeigen herkömmliche piezoelektrische Sensoren sowie Ausführungsbeispiele der Erfindung zur Erläuterung des Betriebs des piezoelektrischen Sensors nach der Erfindung im Vergleich mit einem herkömmlichen Sensor. In beiden Figuren ist mit (A) das Polaritätsverhalten an einer herkömmlichen und einer erfindungsgemäßen piezoelektrischen Membran dargestellt. Bei (B) ist das Ladungspolaritätsverhalten an jeder der Elektroden dargestellt, welches in Abhängigkeit von der Einwirkung einer kinetischen Energie erzeugt wird. Bei (C) ist das Ladungspolaritätsverhalten an jeder Elektrode dargestellt, welches in Abhängigkeit von einer Temperaturänderung erzeugt wird. Bei (D) sind Ersatzschaltbilder der piezoelektrischen Sensorschaltungen dargestellt.

Zunächst wird unter Bezugnahme auf die Fig. 7 (A), 7 (B), 7 (C) und 7 (D) das Verhalten eines herkömmlichen piezoelektrischen Sensors erläutert. Wie aus Fig. 7 (A) zu ersehen ist, kann das Ausgangssignal der piezoelektrischen Elemente 21' und 22' nur über die äußeren Elektroden 23' und 24', welche in Reihe geschaltet sind, erhalten werden. Die inneren Elektroden 25' und 26' sowie die Metallscheibe 20' sind durch den isolierenden Tragring elektrisch isoliert. Das Ausgangssignal des piezoelektrischen Elements enthält eine Signalkomponente (S), welche die gemessene kinetische Energie darstellt und eine Störkomponente (N), welche die von der Temperaturänderung abhängige Störung beispielsweise enthält. Wenn man annimmt, daß die Spannung der Signalkomponenten (S), welche in Abhängigkeit von der zur Einwirkung gebrachten kinetischen Energie erzeugt werden soll, durch V_F ausgedrückt werden kann, läßt sich V_F bezüglich eines bestimmten Zeitraums durch folgende Beziehung wiedergegeben:

$$\begin{aligned} V_F(t) &= V_1(t) + V_2(t) \\ &= i_{1F} \times I_{R1} [1 - \chi^{-1/(I_{R1} \times C_1) \times t}] \\ &\quad + i_{2F} \times I_{R2} [1 - \chi^{-1/(I_{R2} \times C_2) \times t}] \\ &= i_{1F} \times I_{R1} + i_{2F} \times I_{R2} \\ &\quad - [i_{1F} \times I_{R1} \times \chi^{-1/(I_{R1} \times C_1) \times t} \\ &\quad + i_{2F} \times I_{R2} \times \chi^{-1/(I_{R2} \times C_2) \times t}] \end{aligned}$$

Hierbei bedeuten

i_{1F} und i_{2F} Ströme, die in Abhängigkeit von der auf die piezoelektrischen Elemente einwirkenden kinetischen Energie erzeugt sind, und deren Amplitude in Abhängigkeit von der einwirkenden kinetischen Energie sich ändert;

C_1 und C_2 elektrostatische Kapazitäten der piezoelektrischen Elemente 21' und 22';

I_{R1} und I_{R2} Isolationswiderstände der piezoelektrischen Elemente 21' und 22'.

Andererseits erzeugen die piezoelektrischen Elemente 21' und 22' einen elektrischen Strom, der durch

folgende Beziehung wiedergegeben werden kann:

$$i_T = \lambda_T \times dT/dt$$

- 5 Hierbei bedeuten λ_T einen temperaturabhängigen Koeffizienten, der die Amplitude des Stromes angibt, der in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Ausmaß der Temperaturänderung erzeugt wird.

Die Spannung V_T der Störungskomponente (N) des Ausgangssignals der piezoelektrischen Elemente kann durch folgende Beziehung wiedergegeben werden:

$$\begin{aligned} 10 \quad V_T(t) &= V_1(t) - V_2(t) \\ &= i_{1T} \times IR_1 - i_{2T} \times IR_2 \\ &= [i_{1T} \times IR_1 \times \chi^{1-(IR_1 \times C_1) \times t}] \\ &\quad - [i_{2T} \times IR_2 \times \chi^{1-(IR_2 \times C_2) \times t}] \end{aligned}$$

- 15 Wenn für die elektrischen Charakteristiken der piezoelektrischen Elemente 21' und 22' die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\begin{aligned} i_{1F} &= i_{2F} \\ i_{1T} &= i_{2T} \\ 20 \quad C_1 &= C_2 \text{ and} \\ IR_1 &= IR_2 \end{aligned}$$

dann ergeben sich für die entsprechenden Spannungen V_F und V_T der Signalkomponente und der Störungskomponente die folgenden Beziehungen:

$$\begin{aligned} 25 \quad V_F(t) &= 2i \times IR [1 - \chi^{1-(IR \times C) \times t}] \\ V_T(t) &= (i \times IR - i \times IR) \times [1 - \chi^{1-(IR \times C) \times t}] = 0. \end{aligned}$$

- 30 Hieraus ergibt sich, daß dann, wenn die elektrischen Charakteristiken der piezoelektrischen Elemente identisch zueinander sind, dem Ausgangssignal des piezoelektrischen Elements keine Störungskomponente überlagert ist. In der Praxis ergeben sich jedoch aufgrund von Herstellungstoleranzen bei den piezoelektrischen Elementen und aufgrund von Spannungsbeanspruchung, welche im jeweiligen piezoelektrischen Element durch die Bindung an die Metallscheibe und durch die Elastizität des Tragrings hervorgerufen ist, unvermeidbare Abweichungen der elektrischen Charakteristiken zwischen den piezoelektrischen Elementen. Da die Größe der
- 35 Strömungskomponente proportional der Größe der Abweichung der elektrischen Charakteristiken zwischen den piezoelektrischen Elementen ist, ist der Einfluß einer geringen Abweichung so, daß ein großer Anteil der Störkomponente erzeugt wird. Dies beeinträchtigt das Signal/Stör-Verhältnis.

Typische Faktoren zur Beeinträchtigung des Signal/Stör-Verhältnisses sind die temperaturabhängige Stromdifferenz ($i_{1T} - i_{2T}$), die elektrostatische Kapazitätsdifferenz ($C_1 - C_2$) und die Isolationswiderstandsdifferenz ($IR_1 - IR_2$).

- 40 Die Fig. 8 (A), 8 (B), 8 (C) und 8 (D) zeigen den Betrieb eines piezoelektrischen Sensors nach der Erfindung. Aus der Fig. 8 (A) ergibt sich, daß durch die Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente 21 und 22, welche bei der Erfindung zur Anwendung kommen, ein Ausgangssignal erreicht werden kann, das nicht nur von den äußeren Elektroden 23 und 24 abgeleitet ist, sondern auch von den inneren Elektroden 25 und 26 über den mit
- 45 der Metallscheibe 20 verbundenen Verbindungsdraht 28. Das Ersatzschaltbild ist in der Fig. 8 (D) dargestellt. Die Spannung V_F am Ausgang der piezoelektrischen Elemente 21 und 22, welche in einem Zeitraum erzeugt wird, kann durch folgende Gleichung wiedergegeben werden:

$$\begin{aligned} 50 \quad V_F(t) &= V_{1F}(t) (= V_{2F}(t)) \\ &= (i_{1F} \times i_{2F}) \times IR_1 // IR_2 \times [1 - \chi^{-(1/IR_1 // IR_2 \times C_1 // C_2) \times t}]. \end{aligned}$$

Andererseits läßt sich die Spannung V_T für die Störkomponente, welche von der Änderung der Umgebungstemperatur abhängt, durch folgende Beziehung wiedergeben:

$$\begin{aligned} 55 \quad V_T(t) &= V_{1T}(t) (= V_{2T}(t)) \\ &= (i_{1T} \times i_{2T}) \times IR_1 // IR_2 \times [1 - \chi^{-(1/IR_1 // IR_2 \times C_1 // C_2) \times t}]. \end{aligned}$$

Wenn die elektrischen Charakteristiken der piezoelektrischen Elemente 21 und 22 die gleichen sind, lassen sich obige Beziehungen wie folgt wiedergeben:

$$\begin{aligned} 60 \quad V_F(t) &= i \times IR \times \{1 - \chi^{-(1/IR \times C) \times t}\}, \\ V_T(t) &= (i - i) \times 1/2 IR \times \{1 - \chi^{-(1/IR \times C) \times t}\} = 0. \end{aligned}$$

- 65 Aus der vorstehenden Beziehung ergibt sich, daß die temperaturabhängige Stromdifferenz ($i_1 - i_2$) der einzige Faktor ist, welcher die Störkomponente beeinflußt. Mit anderen Worten: die Unterschiede der elektrostatischen Kapazität und des Isolationswiderstandes beeinflussen die Störkomponente nicht. Andererseits wird durch die Parallelschaltung die Spannung der Signalkomponenten (V_F) auf die Hälfte der Spannung bei Serienschaltung reduziert. Da die Parallelschaltung einen Einfluß der elektrostatischen Kapazitätsdifferenz und der Isolationswi-

derstandsdifferenz vermeiden kann, läßt sich der Pegel der Störkomponente auf einen geringeren Betrag vermindern als dies bei der Serienschaltung der Fall ist. Demzufolge läßt sich das Signal/Stör-Verhältnis am Ausgang des piezoelektrischen Sensors verbessern.

Die geschilderte Verbesserung, welche durch die Erfindung erreicht wird, läßt sich durch Versuche bestätigen. Bei den Versuchen wurden die Schaltungsanordnungen verwendet, welche in den Fig. 9 (A) und 9 (B) gezeigt sind. In der Fig. 9 (A) ist eine Serienschaltung der piezoelektrischen Elemente 21' und 22' dargestellt. Ein Ableitungswiderstand 35' besitzt 5000 Megohm und die piezoelektrische Membran 100' besitzt 20 000 Pikofarad. Demgemäß beträgt das CR-Produkt 100 (sec). In der Schaltung der Fig. 9 (B) ist eine Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente 21 und 22 dargestellt. Ein Ableitungswiderstand 35 beträgt 1250 Megohm, und die piezoelektrische Membran 100 besitzt 80 000 Pikofarad. Das CR-Produkt beträgt demnach 100 (sec).

Unter Verwendung der in den Fig. 9 (A) und 9 (B) dargestellten Detektorschaltungen wurden die Spannungen der Störkomponenten an verschiedenen Testgegenständen gemessen, wobei eine Temperaturänderung mit vorgegebenem Temperaturgradienten vorgesehen war. Die Fig. 10 (A) bis 10 (H) zeigen die Daten der Meßergebnisse. Unter den in den Fig. 10 (A) bis 10 (H) dargestellten Daten zeigen die Fig. 10 (A), 10 (B) und 10 (C) die Meßwerte, welche sich bei der Parallelschaltung der piezoelektrischen Elemente ergeben haben. Die Fig. 10 (D), 10 (E) und 10 (F) zeigen die gemessenen Daten bei Serienschaltung der piezoelektrischen Elemente. Die Fig. 10 (G) und 10 (H) zeigen Temperaturänderungscharakteristiken bei den durchgeführten Versuchen. Wie durch Vergleich der Fig. 10 (A), 10 (B) und 10 (C) mit den Fig. 10 (D), 10 (E) und 10 (F) sich ergibt, ist das Signal/Stör-Verhältnis am Ausgang des piezoelektrischen Sensors bei der Parallelschaltung erheblich verbessert.

Bei Verwendung des piezoelektrischen Sensors mit der oben beschriebenen piezoelektrischen Membran läßt sich die Relativverschiebung zwischen einem Fahrzeugkörper und einem Aufhängungsteil, der drehbar ein Fahrzeugrad trägt, zur automatischen Aufhängungssteuerung erfassen. Wie schon ausgeführt, ist es zur Erzielung einer ausreichenden Steuerung des Fahrzeugaufhängungssystems erforderlich, die niederfrequente Schwingung zu erfassen. Um die niederfrequente Schwingung erfassen zu können, besitzen die piezoelektrischen Elemente bevorzugt einen hohen Isolationswiderstand. Um einen hohen Isolationswiderstand für die piezoelektrischen Elemente des piezoelektrischen Sensors vorzusehen, kann, wie es in Fig. 6 dargestellt ist, der Ableitungswiderstand 35 in die Schaltung eingefügt werden.

Durch Einbringen des Ableitungswiderstandes 35 in der in Fig. 6 dargestellten Weise bildet der piezoelektrische Sensor ein primäres Hochpaßfilter. Die untere Grenze der Frequenz ist für die Messung der kinetischen Energie bestimmt durch das CR-Produkt aus dem Widerstandswert des Isolationswiderstandes der piezoelektrischen Elemente und dem Widerstand des parallel hierzu geschalteten Ableitungswiderstandes sowie den elektrostatischen Kapazitäten der piezoelektrischen Elemente. Beispielsweise kann eine 3-dB-absorbierende Grenzfrequenz f_c durch folgende Beziehung wiedergegeben werden:

$$f_c = 1/2\pi CR(\text{Hz}).$$

Hieraus ist ersichtlich, daß durch ein entsprechendes CR-Produkt es möglich ist, die kinetische Energie im Niederfrequenzbereich zu messen. Wenn andererseits der Widerstand R erhöht wird, erhöht sich das CR-Produkt. Damit erhöht sich die Störkomponente im Ausgangssignal des piezoelektrischen Sensors zwangsläufig auf einen beträchtlichen Pegel. Wenn zusätzlich das piezoelektrische Element geeignet sein soll, eine kinetische Energie bei einem extrem tiefen Frequenzbereich, beispielsweise bei 0,01 Hz, zu messen, sind 1000 Megohm bis 10 000 Megohm für den Ableitungswiderstand erforderlich. Bei einem derart hohen Widerstand ist es schwierig, eine ausreichende Stabilität und Haltbarkeit während der Verwendung beizubehalten.

In bevorzugter Weise wird daher der Ableitungswiderstand niedrig dimensioniert und die elektrostatische Kapazität erhöht zur Erzielung eines ausreichend großen CR-Produkts. Da durch die Erfindung der Einfluß der elektrostatischen Kapazität und des Isolationswiderstandes vermieden wird, ist die Erhöhung der elektrostatischen Kapazität möglich.

Im allgemeinen wird für ein piezoelektrisches Element, welches gesintert ist, die Piezoelektrizität durch Anlegen eines hohen elektrischen Feldes zur Polung vorgesehen. In diesem elektrischen Feld wird der Kristall im piezoelektrischen Element zur Richtung des elektrischen Feldes ausgerichtet. Die Ausgangscharakteristiken des piezoelektrischen Elements in Abhängigkeit von der kinetischen Energie und in Abhängigkeit von der Temperaturänderung sind durch die Polungsbedingungen festgelegt.

Wenn die so hergestellten piezoelektrischen Elemente in Reihe geschaltet werden, können einige -zig und einige hundert Volt einer Hochspannung in Abhängigkeit einer raschen Temperaturänderung erzeugt werden. Wenn eine im wesentlichen hohe Spannung verwendet wird, wird die Ausrichtung des Kristalls des piezoelektrischen Elements geändert, wodurch eine Änderung der Ausgangscharakteristiken bewirkt wird. Wenn andererseits eine Parallelschaltung verwendet wird, unterdrücken sich temperaturabhängige Ströme gegenseitig so weit, daß nur einige Volt erzeugt werden. Im Hinblick darauf ist der erfindungsgemäße piezoelektrische Sensor vorteilhaft wegen der niedrigen erzeugten Spannung. Die innere Kristallausrichtung des piezoelektrischen Elements wird nicht zerstört.

Wie oben erläutert wird, erfüllt die Erfindung alle Ziele und erreicht die Vorteile, welche oben erläutert wurden.

- Leerseite -

3817354

FIG. 1

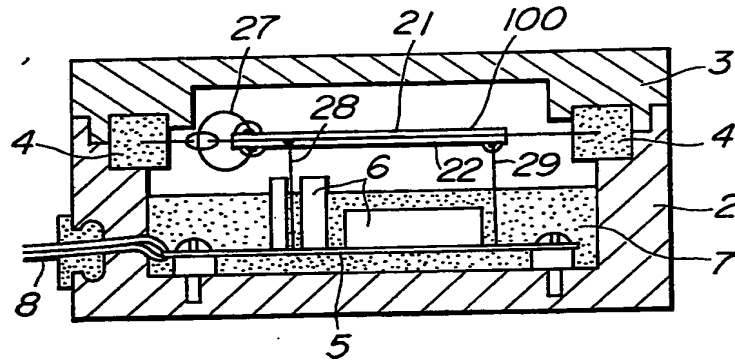


FIG. 2

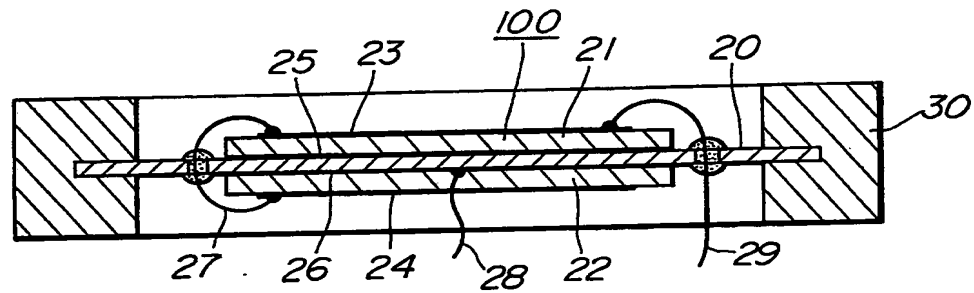
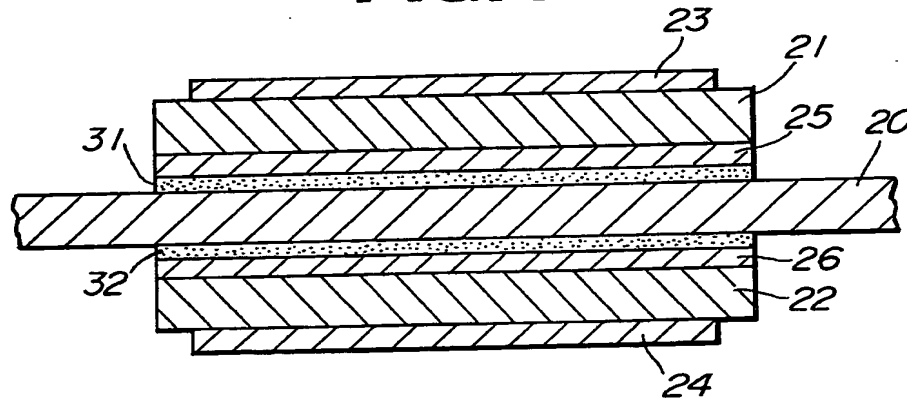


FIG. 3



27.11
20.05.88 27

3817354

FIG. 4

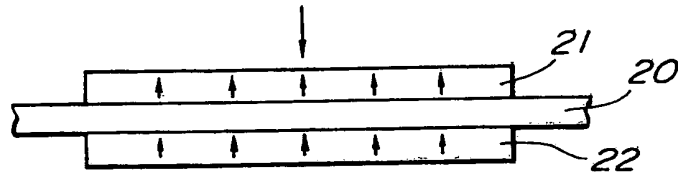


FIG. 5

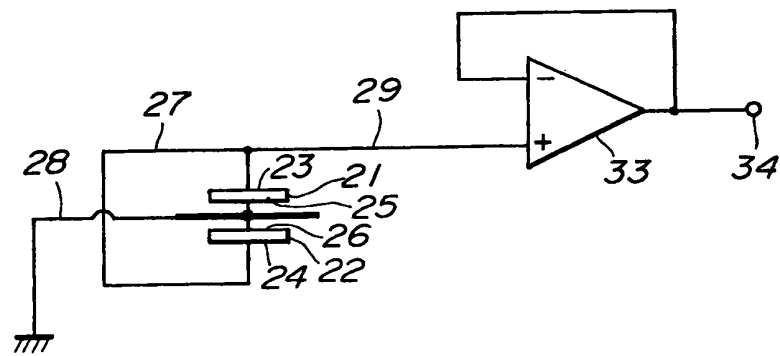
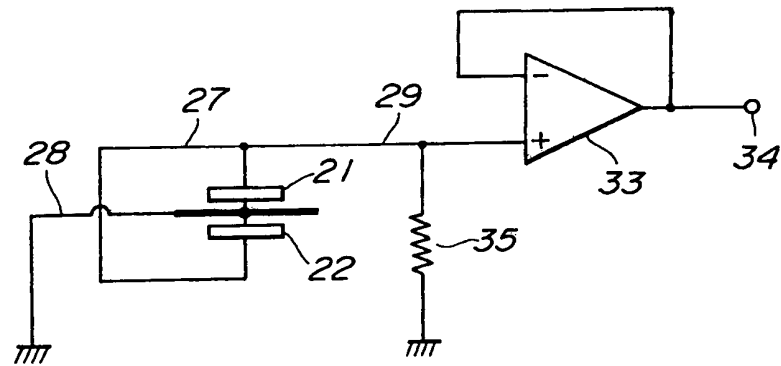


FIG. 6



3817354

FIG. 7

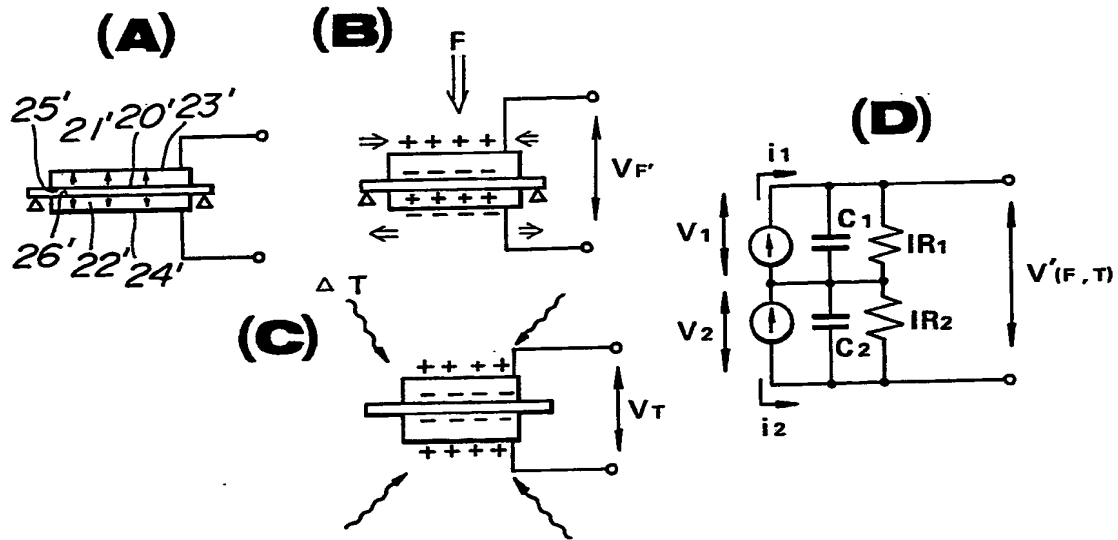
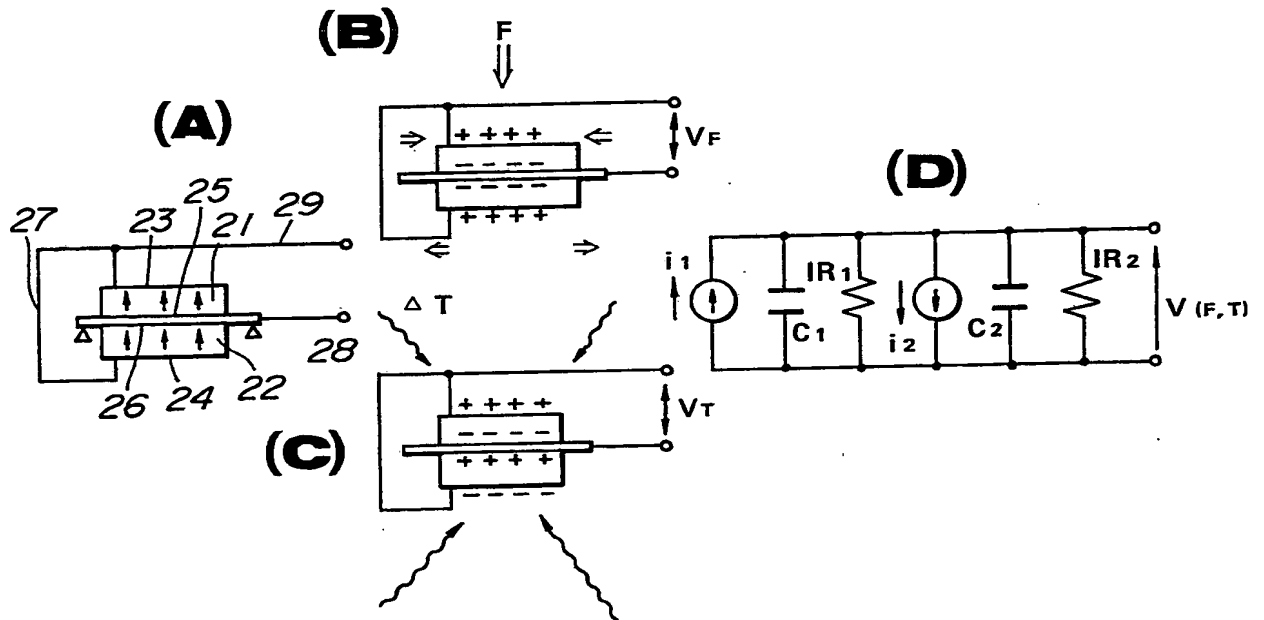


FIG. 8



3817354

FIG. 9

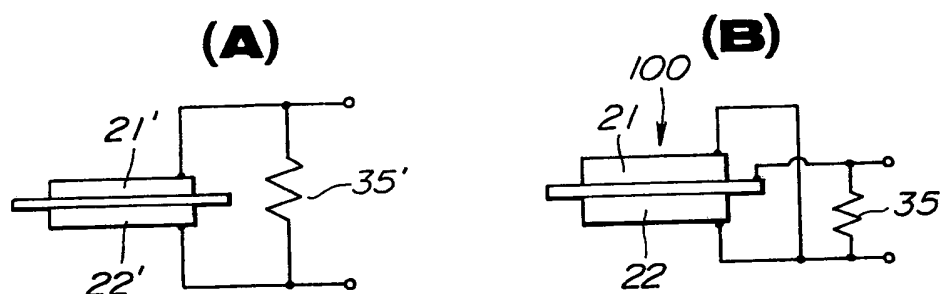


FIG. 10

